

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2014.06.006

钢丝绳无损检测技术研究进展*

牟 帅, 陈志平*, 金嘉蕾, 祝男杰

(杭州电子科技大学 机械工程学院, 浙江 杭州 310018)

摘要: 针对钢丝绳应用及检测过程中安全性能、利用率、检测精度等问题, 综合分析了现阶段钢丝绳无损检测国内外相关研究成果, 总结并提出了今后的研究方向。首先, 介绍了无损检测技术当前在实际工程中的应用, 具体对比分析了两种主流探伤仪技术特点, 以及在桥梁建筑等行业中的应用; 接着, 介绍了现在无损检测技术发展状况, 着重论述了钢丝绳磁检测技术和非磁检测技术研究和应用现状, 其中磁检测技术主要包括电磁法和永磁法, 非磁检测主要包括电流法、声发射法和声-超声检测法; 最后, 在对比当前无损检测研究方法的基础上提出了集中钢丝绳无损检测的可行方法, 指出了发展声-超声检测技术的研究趋势。

关键词: 钢丝绳; 无损检测; 声-超声检测

中图分类号: TH878 **文献标志码:** A

文章编号: 1001-4551(2014)06-0707-04

Progress on nondestructive testing technology of wire ropes

MOU Shuai, CHEN Zhi-ping, JIN Jia-lei, ZHU Nan-jie

(School of Mechanical Engineering, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Aiming at the security, utilization, detection accuracy and other issues in the process of application and detection of wire rope, related research results of present nondestructive flaw detection of wire rope at home and abroad were analyzed comprehensively and the future trend of research was summarized. Firstly, the application of the nondestructive flaw detection in practical project was introduced, two kinds of specific technical characteristics of mainstream detectors were compared and analyzed, which were used in bridge construction and other industries. Then, the non-destructive testing technology's development was introduced, the detection technique of wire rope and the research on nonmagnetic detection technique as well as its application status were focused on. The magnetic detection techniques includes electromagnetic and permanent magnet law, non-magnetic detector includes current testing method, acoustic emission and sound - ultrasonic testing method. Finally, after comparing the research methods of present nondestructive flaw detection, the feasible method for concentrated nondestructive flaw detection of wire rope was proposed. The results indicate that the trend is to develop sound-ultrasound detection technique.

Key words: wire rope; nondestructive testing(NDT); acoustic-ultrasonic testing

0 引 言

钢丝绳是由纯制造碳素钢含碳量高的珠光体组织组成, 作为最重要的挠性构件之一, 被广泛地应用于矿产、冶金、交通、建筑等工程领域中。其在使用过程中, 会出现疲劳、锈蚀、磨损甚至骤断现象, 导致承

载能力下降, 危及设备及人身安全^[1]。据相关统计, 使用中的钢丝绳大约 10% 以上的强度损耗超过 15%, 其中 2% 以上强度损耗越过 30%, 而大概 70% 的强制定期更换的钢丝绳却基本没有损耗^[2]。由此可见, 钢丝绳检测及其安全性评估急需而又较为薄弱。因此对钢丝绳可靠性进行无损检测具有很重要的意义。

近年来, 学者们致力于探索检测钢丝绳缺陷的各

收稿日期: 2013-12-03

基金项目: 浙江省教育厅科研计划资助项目(Y200804882)

作者简介: 牟 帅(1990-), 男, 浙江台州人, 主要从事钢丝绳失效方面的研究。E-mail: moushuaihd@126.com

通信联系人: 陈志平, 男, 博士, 教授。E-mail: czp@hdu.edu.cn

种方法,在努力使钢丝绳使用寿命延长的同时确保其在失效之前及时地更换钢丝绳。但由于钢丝绳机构的复杂性、工作环境多样性和现有检测方法的局限性,使得钢丝绳检测非常困难。本研究综合分析现阶段钢丝绳无损检测国内外相关研究成果,总结并提出今后的研究方向。

1 钢丝绳无损检测应用在国内外的的发展状况

100年前,第一台钢丝绳探伤仪在南非问世。自此采用各种检测技术原理的钢丝绳无损探伤在世界范围内得到了很大的发展^[3]。

(1) 加拿大诺论达矿业公司利用霍尔元件拾取信号法研制的“磁图”式检测仪,能测出钢丝绳断面损失数和断丝位置,于第一届世界钢丝绳年会上被公认为

最优的产品。

(2) 且华 MTC 钢丝绳无损探伤仪是上海且华虚拟仪器技术有限公司在 1997 年从美国引进的虚拟仪器,该仪器建立了可实现定性定量检测诊断的数学模型。在该技术上,且华公司成功地推出了 MTC 钢丝绳安全检测仪(电脑检测诊断系统)。

(3) 洛阳 TCK 公司独创的弱磁检测技术列入 2007 年国家“火炬计划”和 2008 年“国家安全生产科技发展计划”,其生产的一系列钢丝绳检测仪在中国市场占有率超过 80%^[4]。

钢丝绳安全问题得到越来越多的关注,相应的检测产品也层出不穷,如便携式钢丝绳探伤仪、电梯钢丝绳探伤仪、钢丝绳在线实时自动检测系统。在实际工程中应用广泛,两种国内探伤仪的比较如表 1 所示。

表 1 探伤仪对比分析

探伤仪名称	技术特点	工程实际应用案例
且华 MTC 探伤仪 	重量小于 10 kg,检测相对速度 0~6 m/s,检测钢丝绳直径 1.5 mm~200 mm,检测精度 2 cm,检测长度误差 0.3%。	宝钢、外高桥港口、杭州北高峰索道、石洞口电厂已经实际应用该探伤仪长达 9 年,能有效解决防止钢丝绳失效。郑州煤炭钢丝绳检测站在应用该产品之后 3 年收益近 200 万元(摘自且华官网)。
洛阳 TCK 便携式探伤仪 	重量小于 2 kg,检测相对速度 0~30 m/s,测钢丝绳直径 6 mm~200 mm;检测精度小于 0.05%,传感器与被测物体距离 20 mm~30 mm。	中铁集团新建龙岩至厦门铁路项目,其中象山隧道其地区地质条件极其复杂,工期异常紧迫,管理难度大,斜井有轨运输施工及运输安全管理尤为突出,利用 TCK 探伤仪可以对所用钢丝绳进行检测,保障安全(摘自洛阳 TCK 官网)。

2 钢丝绳无损检测技术研究在国内外的的发展状况

钢丝绳无损检测技术是在不损坏钢丝绳结构的基础上,对钢丝绳的内部结构、工作状态进行检测,根据检测结果对钢丝绳的安全性作出评估。在现有技术中,通常将检测技术分为磁检测技术和非磁检测技术。非磁检测方法主要包括声发射检测法、电流检测法、声发射-超声检测法。磁检测方法按其工作原理可分为漏磁通法、主磁通法和回路磁通法,相应的检测元件有霍尔元件、感应线圈等^[5]。

2.1 钢丝绳磁检测技术的研究

磁检测技术应用于工程上的主要是电磁法和永磁法,电磁检测技术因其可靠性强、灵敏度高、经济实惠等优点而被认为最可靠的钢丝绳检测方法,利用霍尔元件进行相关检测的基本原理如图 1 所示。

国外研究中,荷兰的 Zawada NDT 采用感应线圈

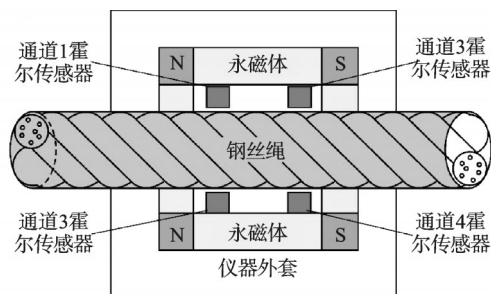


图 1 霍尔元件磁检测基本原理

和霍尔元件相结合的混合线圈传感器检测线圈传感器在漏磁通检测中精度低,现在已趋于用霍尔元件来代替^[6]。美国无损检测技术中心研究了以永久磁铁和积分线圈为基础的钢丝绳截面积损失检测系统,提高了检测 LMA 的分辨率^[7]。德国 Stuttgart 大学设计了内壁嵌有霍尔元件环形阵列的传感器探头,可以清晰地描述钢丝绳轴向和周向的磁场形态^[8]。Zawada 公司的霍尔元件探头能准确无误地检测所有严重缺陷位置和深度,检测局部损伤精度为钢丝绳横截面积的 0.2%。

国内研究中,傅常海等人^[9]开发了基于MSP430的钢丝绳检测方法,能够进行断丝判别及显示检测结果。张锦锦等人^[10]针对新一代电磁法钢丝绳探伤仪在探伤中出现的工频干扰,提出了一种滤除工频干扰的方法。钟小勇^[11]采用漏磁法及数字信号处理器DSP设计了实时在线钢丝绳检测系统,通过迭代计算滤除噪声。田志勇等^[12]提出了一种基于BP神经网络的断丝损伤定量检测系统。肖汉斌等人^[13]通过在试验机上安装弱磁钢丝绳检测系统,选择不同的速度、分频和张力对仪器进行重复性试验,得出最佳的检测条件。赵强^[14]建立了基于弱磁矢量合成理论的钢丝绳无损检测数学模型,利用单片机数字处理和软件分析,实现宽距条件下的实时在线检测。陈厚桂等人^[15]利用灰色预测理论,研究基于有限缺陷集的断丝检测灵敏度预测方法,通过数据预测扩展出虚拟缺陷。陆延红等人^[16]采用霍尔元件检测断丝信号,运用最小二乘法的曲线拟合算法对信号进行定量分析,该处理技术提高了准确率。

双鸭山矿业集团应用了TCK钢丝绳无损检测系统,能较好地解决对重大装备提升钢丝绳在线监测、实时管理的难题,有效地消除了由于钢丝绳断裂造成的机毁人亡的事故,该系统应用每年钢丝绳用量减少1/3,节约350万元,降低检测能耗费用百万元^[17]。

2.2 钢丝绳非磁检测技术的研究

钢丝绳非磁检测技术主要包括电流检测方法、声发射检测法、声发射-超声检测法。

电流检测电路由于其高效率电流模式、电源管理芯片等优点,被学者广泛研究。韩国W.H.K于1999年最早提出了基于SenseFET的电流检测电路,虽经过多年的研究,将电流检测电路运用于钢丝绳检测还是存在一定困难。

声发射(AE)又称应力波发射,Laura等人最早将声发射技术用于钢丝绳检测,结果显示在钢丝绳失效之前检测到高于噪音15 dB~20 dB的AE信号;实验证明钢丝绳达到最大拉伸载荷之前即给出失效报警似乎是可行的。Casey,Taylor等人^[18]对AE技术用于钢丝绳进行了大量的研究,发现能够定位断丝位置。国内来看,只有东北大学的邵永波、于大安等人^[19]用声发射技术对钢丝绳断丝进行定量检测研究,实现断丝的定量化研究和断丝的自动检测与识别。但因其设备成本较高,只适用于静态工作状态下的钢丝绳检测,故只用于非常重要的场合^[20]。

声-超声检测技术被视为判定复合材料结构损伤的一种有效方法^[21],检测原理如图2所示,该方法采用压电换能器在材料表面发送应力波,该应力波与材料

微结构相互作用并经界面多次反射与波形转换后,到达接收应力波信号的传感器;对接收的波形信号进行分析,提取几个能反映材料机械性能变化的参量,称为应力波(SWF)因子。研究者可以根据试验来研究钢丝绳磨损后的SWF因子与其破断拉力之间的关系,最后判断钢丝绳安全状况,预测钢丝绳使用寿命。

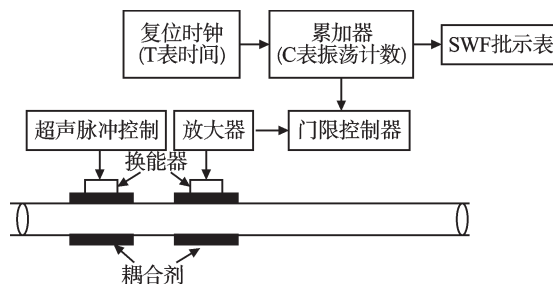


图2 声-超声检测原理

韩国的科技人员^[22]利用各种无损检测方法对粘结复合材料的疲劳强度进行了研究,认为AU检测技术能提供缺陷部位更详细的信息;英国的Richard等人^[23]利用该技术对航空飞机结构、复合材料和风机涡轮叶片进行研究,建立了结构缺陷与强度之间的关联程度。国内声和超声技术研究与应用起步较晚,1991年开始了有关金属基复合材料声-超声技术课题研究。航空航天部利用声-超声对复合材料进行无损研究,同济大学刘镇清^[24]对声-超声的发射、传播及接受做了一定研究;声-超声检测技术用于检测钢丝绳尚处于理论研究阶段,实际运用于钢丝绳检测还需要很长一段时间的研究。

3 结束语

钢丝绳检测的目的是保障运行安全,减少因过早报废产生的浪费。多年相关研究使得钢丝绳检测技术有了长足的进步,相关产品的上市能够有效解决实际工程问题,仍有较大的发展空间。但由于钢丝绳机构的复杂性、工作环境多样性和现有检测方法的局限性,使得钢丝绳检测定量化还有一定难度。磁检测能够做到定性分析,定量分析不足;电流检测应用不广泛;声发射对于稳定的缺陷不够敏感。声-超声检测技术结合声发射和超声波的优点,在无损检测中具有光明前景,可以从下面几方面开展研究。

(1) 多方面考虑疲劳、锈蚀、磨损等综合因素,利用声发射-超声技术有效地评定钢丝绳的使用性能和寿命。结合频谱分析和小波等目前新技术,尽可能多地综合实验获取钢丝绳质量、整体性、强度值及复合状态的信息,以此来提高测试信号的准确性。

(2) 加强计算机技术应用,提高声发射-超声技术的实时分析和过程控制,通过数据分析,可以建立

起钢丝绳金属截面损失(LMA)、金属局部缺陷(LF)与钢丝绳剩余强度之间关系的数学模型,那么就可以准确地掌握钢丝绳的强度损失。

随着科学技术的迅速发展,钢丝绳无损检测技术正在向着高精度、智能化、多功能、操作简单、微控制器辅助检测方向发展,由仪器逐步代替人,即研制出能同时定量检测 LMA 和 LF 的一体化智能检测装置。

参考文献(References):

- [1] 朱玉堂,田志勇,戴一平,等. 钢丝绳断丝损伤定量检测技术[J]. 机电工程,2008,25(8):44-46.
- [2] 钟小勇,张小红. 便携式钢丝绳在线检测仪研究[J]. 仪表技术与传感器,2012(3):10.
- [3] 陈琳. 电梯钢丝绳无损检测技术应用研究[J]. 机电信息,2011(33):93.
- [4] 毕可仁,杨旭,刘峰. 钢丝绳在线自动监测系统研究[J]. 建井技术,2008,29(1):8.
- [5] 康宜华,武新军,杨叔子,等. 磁性无损检测技术的分类[J]. 无损检测,1999,21(2):58-60.
- [6] 谭明光,宋海兰. 运行中钢丝绳的检测技术[J]. 无损检测,1994,16(3):69-70.
- [7] Health and Safety Executive. Wire Rope Non-Destructive Testing Survey of Instrument Manufacturers [R]. Health and safety Executive, 2000.
- [8] 曹印妮,张东来,徐殿国,等. 钢丝绳定量无损检测现状[J]. 无损检测,2005,27(2):91-95.
- [9] 傅常海,周召发,张晋,等. 基于 MSP430 的钢丝绳检测装置设计[J]. 可编程控制器与工厂自动化,2004(9):121-124.
- [10] 张锦锦,华钢,陆延红,等. 钢丝绳损伤检测信号工频干扰滤波方法[J]. 煤炭科学技术,2010,38(4):94-96.
- [11] 钟小勇,张小红. 矿用钢丝绳探伤传感器的优化设计[J]. 煤矿机械,2012,33(8):7-9.
- [12] 田志勇,张耀,谭继文,等. 基于 BP 神经网络的钢丝绳断丝定量检测[J]. 煤炭学报,2006,31(2):245-249.
- [13] 肖汉斌,周永华,陶德馨,等. 基于钢丝绳弱磁在线检测技术的研究[J]. 起重运输机械,2009(3):16-83.
- [14] 赵强. 基于弱磁矢量合成的钢丝绳在线检测系统[J]. 煤矿机电,2010(4):26-27.
- [15] 陈厚桂,江政,武新军,等. 基于有限缺陷集的钢丝绳电磁探伤仪的断丝检测灵敏度预测方法[J]. 应用基础与工程科学学报,2009(11):166-170.
- [16] 陆延红,华钢,陈凤军,等. 基于最小二乘法的钢丝绳断丝定量检测技术研究[J]. 矿山机械,2010(1):55-59.
- [17] 毕可仁,杨旭,刘峰,等. 钢丝绳在线自动检测系统研究[J]. 建井技术,2008,29(1):18-20.
- [18] CASEY N F, TAYLOR J L. The evaluation of wire ropes by acoustic emission techniques[J]. **British Journal of NDT**, 1985,27(6):351-356.
- [19] 邵永波,于大安,王师,等. 钢丝绳断丝声发射定量检测方法研究[J]. 东北大学学报,1999,20(2):130-133.
- [20] 邵永波,朱祖铭. 声发射技术在钢丝绳失效测试中的应用[J]. 无损探伤,1998(3):4-7.
- [21] 王勇. 声-超声材料检测技术研究[D]. 北京:清华大学材料科学与工程学院,2000:2-4.
- [22] KWON O Y, KIM T H, LEE K J, et al. Monitoring of Fatigue Damage in Adhesively Bonded Composite-Metal Joints by Acoustic Methods [C]//15th Word Conference on Non-Destructive Testing. Rome: [s.n.], 2000.
- [23] FINLAYSON R D. Health Monitoring of Aerospace Structures with Acoustic Emission and Ultrasonics [C]//15th Word Conference on Non-Destructive Testing. Rome: [s.n.], 2000.
- [24] 李家伟,陈积懋. 无损检测手册[M]. 北京:机械工业出版社,2002.

[编辑:张翔]

本文引用格式:

牟帅,陈志平,金嘉蕾,等. 钢丝绳无损检测技术研究进展[J]. 机电工程,2014,31(6):707-710.

MOU Shuai, CHEN Zhi-ping, JIN Jia-lei, et al. Progress on nondestructive testing technology of wire ropes[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2014, 31(6): 707-710.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>

(上接第 701 页)

- [30] TSNNER E, GRANADE, WHITEHEAD C A. Antonomous Rendezvous and Docking Sensor Suite [J]. **SPIE**. 2003: 5086.
- [31] WU Q X, LL 5, HAO Y M, et al. A Model-based Monocular Vision System for Station Keeping of an Underwater Vehicle [C]//Proceedings of 2005 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics. Hongkong: [s.n.], 2005: 450-454.
- [32] 赵月. 单目位姿测量目标中心定位算法研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学信息与通信工程学院, 2011.
- [33] LUH J Y, KLAASEN J A. A three dimensional vision by offshelf system with multi cameras [J]. **IEEE Trans PA-MI**, 1985, 7(1): 35-45.
- [34] 解邦福. 基于单目视觉的刚体位姿测量系统研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学仪器科学与技术学院, 2009.
- [35] 熊春山, 黄心汉, 王敏, 等. 融合图像处理与超声测距的工件精确抓取[J]. 机器人, 2000, 22(3): 183-187.
- [36] 黄博才, 刘少君, 黄道平. 数控玻璃雕刻机上 Mark 点视觉定位系统的设计与实现[J]. 轻工机械, 2012, 30(4): 61-64.
- [37] 张建忠, 何永义, 李军. 机器人装配视觉定位应用[J]. 机电工程, 2011, 28(8): 934-937.

[编辑:罗向阳]